แต่ตัวอักษร มาเป็นจอภาพแสดงผลกราฟิกสีเดียว จอภาพกราฟิกความละเอียดต่ำสี่สี จอภาพความละเอียดปานกลางสิบหกสี และในที่สุดเป็นจอภาพความละเอียดค่อนข้างสูงสองร้อยห้าสิบหกสีก็ตาม ก็ยังห่างจากจอภาพ "พิศดาร" ของเวอร์กสเตชันมากมายนัก เพียงแค่ขีดความสามารถในการแสดงภาพเหมือนจริงสามมิติที่หมุนเลื่อนไปมาได้ตามต้องการเท่านั้น ก็สามารถท้าพนันเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนตัวทั้งหลายในพิภพจบแดนได้ว่าไม่มีทางสู้เด็ดขาด!

## เคล็ดลับความงาม

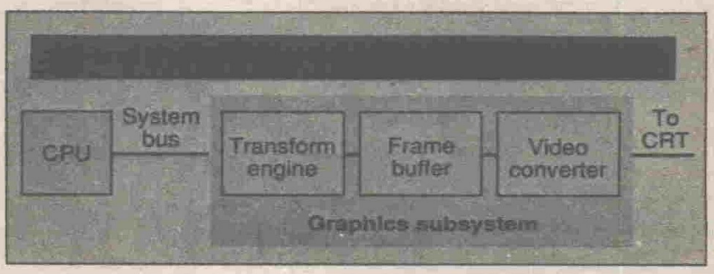
ถ้ามาพิจารณาดูที่เวอร์กสเตชันว่ามีส่วนใดที่แตกต่างจากเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนตัวที่ทำให้ขีดความสามารถด้านกราฟิก "พิศดาร" ได้ขนาดนั้น ท่านก็จะพบคำตอบว่า เกิดจากมีความจำสำหรับใช้งานเกี่ยวกับการแสดงผลโดยเฉพาะสูงมาก และมีระบบคำนวณเพื่อการแสดงผลแยกต่างหาก มีโปรเซสเซอร์ของตัวเองแยกเป็นเอกเทศเลยทีเดียว ซึ่งตรงนี้ต่างจากระบบเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนตัวที่ยังเป็นแค่การ์ดควบคุมเท่านั้นเอง

มาถึงตรงนี้หลายคนคงเริ่มแย้งว่าไอ้การแสดงผลเป็นรูปสามมิติมันสำคัญอะไรกันขนาดนั้น ไม่ใช้ก็ได้ไม่เห็นกับจะเป็นจะตายอะไร จริงอยู่ ทุกคนไม่ถึงกับจำเป็นจะต้องใช้การแสดงรูปผิวตันสามมิติ แต่ปัจจุบันนี้เราใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ในการออกแบบต่าง ๆ เพิ่มขึ้นทุกวันไม่ว่าจะเป็น ชิ้นส่วนเครื่องจักร ตึกอาคาร และอื่น ๆ ก็ล้วนแต่เป็นการออกแบบสามมิติทั้งสิ้น การออกแบบจะเพิ่มประสิทธิภาพขึ้นมากถ้าผู้เขียนแบบสามารถเห็นภาพจริงเป็นสามมิติแทนที่จะมองภาพทีละด้านเหมือนมองแบบแปลนบนกระดาษ ระบบกราฟิกสามมิติที่ดีจะต้องแสดงภาพให้แก่ผู้เขียนแบบได้อย่างรวดเร็วจากทุกมุมมองและทุกระยะทาง รวมทั้ง "หมุน" วัตถุที่ออกแบบนั้นดูรอบ ๆ ได้ด้วย ถ้ามีการเปลี่ยนสภาพของวัตถุ เช่น สีหรือมุมตกกระทบของแสง ระบบกราฟิกจะต้องแสดงให้เห็นความเปลี่ยนแปลงนี้อย่างรวดเร็วด้วย แม้ว่าจะมีเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนตัวบางรุ่นพยายามจะทำให้ได้ตามต้องการก็ตาม แต่ก็ต้องติดตั้งฮาร์ดแวร์พิเศษและใช้งานกับโปรแกรมพิเศษเฉพาะตัวซึ่งไม่เป็นมาตรฐาน สิ่งนี้แสดงให้เห็นความแตกต่างกับเวอร์กสเตชัน ซึ่งมีส่วนแสดงผลกราฟิกเป็นหน่วยย่อยอยู่ในเครื่องเสร็จสรรพ การใช้งานก็มีภาษามาตรฐานอย่างเช่น GKS และ PHIGS เป็นต้น

เมื่อเราจะแสดงรูปเชิงสามมิติบนจอภาพ (ซึ่งเป็นสองมิติ) นั้น จะต้องมีการแปลงรูปภาพจากสามมิติมาเป็นสองมิติ ซึ่งถ้าเป็นในกรณีของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ไม่มีอุปกรณ์ช่วย การแปลงรูปภาพนี้จะต้องเป็นหน้าที่ของซีพียูหลักทั้งหมด ซึ่งจะเป็นการเสียเวลาอย่างยิ่ง สำหรับในกรณีของเวอร์กสเตชันนั้นจะมีอุปกรณ์พิเศษเป็นโปรเซสเซอร์ที่มีความสามารถเฉพาะในการคำนวณเลขจำนวนจริงซึ่งเรียกว่า transform engine เพื่อใช้ทำการแปลงรูปจากสามมิติมาสู่สองมิติซึ่งจะเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานขึ้นอีกมาก ดังในรูปที่ 1 หลังจากที่มีการแปลงรูปภาพนี้เรียบร้อยแล้วข้อมูลนี้ก็จะมีการเก็บลงในหน่วยความจำเฉพาะสำหรับเก็บข้อมูลที่จะแสดงบนจอภาพซึ่งเราเรียกว่า frame buffer หรือหน่วยความจำจอภาพ หลังจากนั้นก็จะมีการอ่านความจำส่วนนี้เพื่อนำไปตัดสินว่าจุดใดบนจอภาพควรจะมืดจุดใดควรจะสว่างทำให้ปรากฏรูปภาพบนจอภาพที่เหมือนรูปสามมิติที่เราต้องการ การกำหนดและออกแบบระบบกราฟิกของแต่ละระบบนั้นขึ้นอยู่กับแต่ละบริษัทไป แต่เมื่อขีดความสามารถของตัวซีพียูหลักเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ โดยเฉพาะในกรณีที่มีการใช้โปรเซสเซอร์หลายตัวต่อกันเป็นระบบความจำเป็นของโปรเซสเซอร์เฉพาะด้านกราฟิกก็จะลดน้อยลงจนหมดไปในที่สุด ฉะนั้นเมื่อเราเพ่งให้ลึกซึ้งจะเห็นว่าระบบกราฟิกนั้นแท้จริงแล้วต้องพึ่งพาหน่วยความจำจอภาพในการกำหนดคุณภาพของผลงานมากกว่าอย่างอื่น

## ยิ่งมากยิ่งละเอียด ยิ่งละเอียดยิ่งมาก

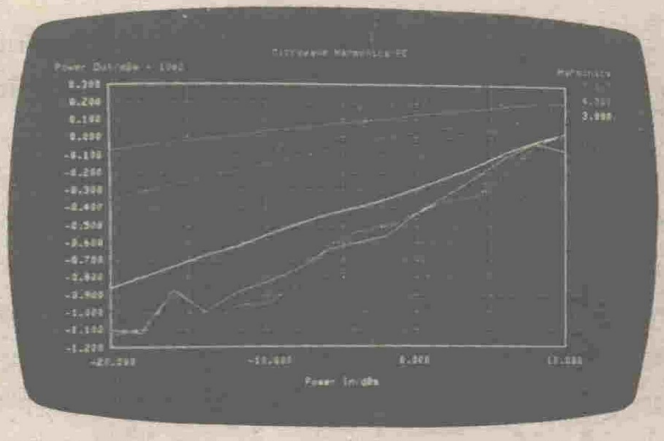
เมื่อพูดถึงรูปกราฟิก ทุกคนก็จะพูดถึง "ความละเอียด" กัน ความละเอียดของภาพนั้นเราวัดเป็นจำนวนจุดภาพที่สามารถบังคับได้เป็นลักษณะจำนวนจุดแกนนอน × จำนวนจุดแกนตั้ง

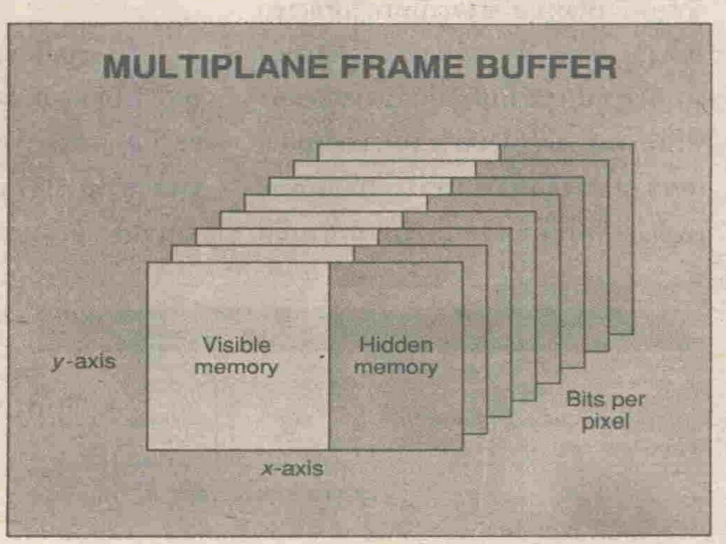



รูปที่ 1 แสดงระบบการแปลงรูปจากสามมิติมาสู่สองมิติบนเวอร์กสเตชัน

จุดภาพเหล่านี้เราเรียกว่า พิกเซล โดยปกติแล้วจอภาพเครื่องคอมพิวเตอร์ปัจจุบัน (ยกตัวอย่าง เช่น จอ VGA) จะมีความละเอียดขนาด 640×480 จุดภาพ หรือ 307,200 จุดภาพ ในขณะที่ความละเอียด (ที่ค่อนข้างมาตรฐาน) ของเวอร์กสเตชันในปัจจุบันนั้นจะอยู่ในขนาดประมาณ 1,280×1,024 จุดภาพหรือ 1,310,720 จุดภาพ แม้ว่าเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนตัวทุกวันนี้มีจอภาพและการ์ดที่มีความละเอียดสูงขึ้นแต่ยังไม่เป็นมาตรฐาน จึงทำให้โปรแกรมที่สามารถใช้ความละเอียดที่เพิ่มขึ้นให้เป็นประโยชน์ได้นั้นยังมีน้อยอยู่

นอกจากระบบกราฟิกของเวอร์กสเตชันจะมีความละเอียดมากถึงที่ได้กล่าวมาแล้ว ยังมีส่วนความจำของจอภาพอีกส่วนหนึ่งซึ่งถูกกันไว้ไม่ได้แสดงขึ้นบนจอภาพ ความจำส่วนนี้เราเรียกว่า hidden memory หรือความจำแฝงของจอภาพ ดังในรูปที่ 2 ความจำส่วนนี้ทำหน้าที่เหมือนเป็นกระดาษร่างรูป ตัวหนังสือ รูปแพตเทิร์นต่าง ๆ รวมทั้งเป็นกระดาษทดในการคำนวณเพื่อการสร้างภาพบนจอที่เร็วยิ่งขึ้นอีกที่เป็นเช่นนี้เพราะถ้าเรามีโอกาสสร้างภาพที่จะใช้ต่อไปบนหน่วยความจำของจอภาพ (แม้จะเป็นส่วนแฝงก็ตาม) การจะแสดงผลจะทำได้ง่ายโดยการก๊อบปี้ข้อมูลจากหน่วยความจำส่วนที่วาดเสร็จแล้วไปยังส่วนที่ใช้แสดงผลอยู่ ซึ่งจะทำได้รวดเร็วกว่าการก๊อบปี้ข้อมูลนี้มาจากหน่วยความจำใช้งานธรรมดา ยิ่งกว่านั้นหน่วยความจำของจอภาพจะมีการจัดขนาดไว้พอเหมาะกับจอภาพอยู่แล้วทำให้ไม่มีปัญหาเรื่องการก๊อบปี้ขาดหรือเกินหรือจัดผิดแบบทำให้รูปภาพคลาดเคลื่อน เทคนิคการมีหน่วยความจำแฝงนี้เป็นที่นิยมใช้อย่างมากทำให้ขนาดของความจำ (เฉพาะส่วนแฝง) เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในระบบรุ่นใหม่ ๆ จนในปัจจุบันนี้เครื่องรุ่นใหม่สามารถจะให้คุณเลือกมองหน่วยความจำจอภาพทั้งหมดได้ทีละส่วน ลักษณะการจัดแบบนี้เหมาะอย่างยิ่งสำหรับคนที่มีความจำเป็นจะต้องวาดรูปขนาดยักษ์ เพราะจอภาพของเครื่องจะเป็นเสมือนแว่นขยายส่องดูรูปภาพขนาดยักษ์นั้นทีละส่วนและยังสามารถเลื่อนไปมาได้ทุกทิศทางด้วย



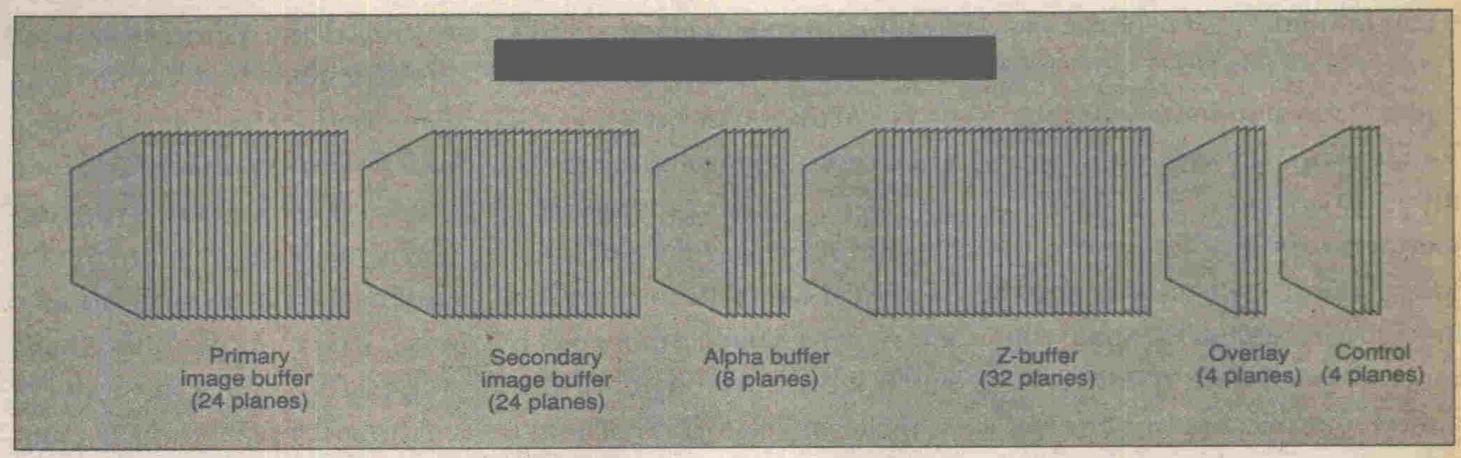



รูปที่ 2
แสดงส่วนหน่วยความจำแฝงของจอภาพ (Iridden memory)

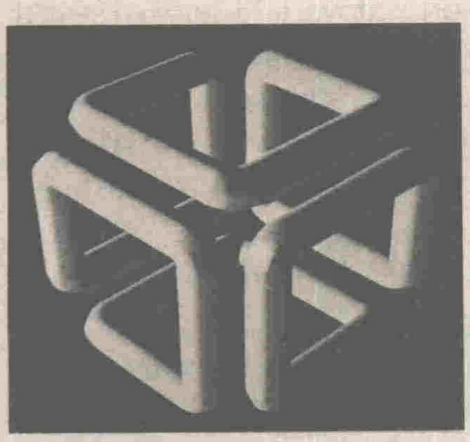
## จอภาพก็มีความลึก

หลายคนคงจะไม่ทราบว่าที่เขาเรียกกันว่า screen depth นั้นหมายถึงจำนวนบิตของข้อมูลที่จะต้องเก็บต่อ "จุดภาพ" เพียงจุดเดียว ถ้าจินตนาการดูอีกทีหนึ่งก็เหมือนกับเราตัดกระดาษมาขนาดเท่ากับจอภาพ แล้วเรานับว่าต้องใช้กระดาษรองกันกี่ชั้นหรือที่เรียกกันว่า plane จึงจะเก็บข้อมูลได้หมด ฉะนั้นจอภาพที่ใช้ข้อมูลถึง 8 บิตต่อหนึ่งจุดภาพ เราก็เรียกว่าเป็นจอ 8 เพลน ความนิยมในการจัดหน่วยความจำจอภาพเช่นนี้ได้เริ่มฮิตกันมานานพอสมควรแล้ว บางระบบมีจำนวนเพลนเป็นสิบ ๆ ทีเดียว ดังในรูปที่ 3

จุดประสงค์สำคัญอันดับแรกในการเพิ่มจำนวนเพลนก็เพื่อที่จะเพิ่มจำนวนสีที่สามารถแสดงได้พร้อม ๆ กันในรูปเพียงรูปเดียว ถ้าข้อมูลจุดภาพเก็บโดยใช้เพียงเพลนเดียว แต่ละจุดภาพก็จะ




รูปที่ 3 แสดงให้เป็นจำนวนเพลนที่ใช้เก็บภาพบนจอภาพบนเวอร์กสเตชัน



รูปที่ 4 ภาพที่แสดงด้วยระบบสีเหมือนจริงบนเวอร์กสเตชันแสดงได้ 16, 777, 216 สีพร้อมกัน

กำหนดได้เฉพาะเป็นติด (สีขาว) หรือดับ (สีดำ) เท่านั้น เมื่อเทียบกับการเก็บข้อมูลจุดภาพแบบ 8 เพลน จะทำให้แต่ละจุดภาพมีสีให้เลือกได้ถึง $2^8 = 256$ สีทีเดียว ระบบนี้แม้จะมีจำนวนสีให้เลือกมากแล้วแต่เรายังจะเรียกว่าเป็นระบบ pseudo-color หรือ สีเทียมเนื่องจากจำนวนสีขนาดนี้ตาของมนุษย์ยังสามารถจำแนกสีที่คล้าย ๆ กันออกได้อย่างชัดเจน ถ้าจะทำให้ตามนุษย์ไม่สามารถจำแนกสองสีที่คล้ายกันมาก ๆ ได้จำเป็นจะต้องเก็บข้อมูลถึง 24 เพลน ซึ่งหมายถึงว่าจะมีสีสรรพต่าง ๆ กันปรากฏบนจอถึง 16,777,216 สีพร้อม ๆ กันเลยทีเดียว! ระบบ 24 เพลนนี้จึงได้ชื่ออีกอย่างหนึ่งว่าระบบ true-color หรือสีเหมือนจริง ดังในรูปที่ 4

หน่วยความจำจอภาพที่ดีไม่ควรจะมีการจัดตำแหน่งเป็นที่ตายตัวลงไปเป็นระบบเดียว เราควรจะสามารถยืดหยุ่นได้ระหว่างความต้องการความละเอียดของภาพกับความต้องการความละเอียดกลมกลืนของสี จอภาพที่มีความละเอียดขนาด 1,024×900 จุดภาพ และมีสีได้ 256 สี (8 เพลน) จะใช้หน่วยความจำเท่ากับจอภาพความละเอียด 640×480 จุดภาพ ที่มีสีได้ 16,777,216 สี ระบบกราฟิกที่ดีควรจะยอมให้มีการเลือกใช้รูปแบบที่เทียบเท่ากันเช่นนี้ได้หลาย ๆ อย่างเพื่อความเหมาะสมกับงานแต่ละงาน สำหรับงานที่ต้องการความละเอียดของสีสูงขึ้นกว่านี้อีกก็จะใช้จำนวนเพลนมากกว่า 24 (บางระบบถึง 32 เพลน) แต่จะแพงมากและไม่ค่อยจะมีที่ใช้งาน

## ป้องกันภาพกะพริบ

เมื่อเราต้องการแสดงรูปเคลื่อนไหวที่มีความเปลี่ยนแปลงเร็วมาก ๆ จะพบว่ารูปนั้นไม่ได้เคลื่อนไหวอย่างนิ่มนวลดังใจนึกแต่กลับปรากฏเป็นภาพกะพริบ ๆ อยู่ตลอดเวลา สาเหตุของอาการนี้เนื่องจากทุกครั้งที่จะมีการวาดรูปใหม่จะมีการลบหน่วยความจำจอภาพออกและเขียนข้อมูลใหม่ลงไป ช่วงเวลาที่มีการลบออก-เขียนใหม่นี้เองทำให้รูปที่ได้มีอาการกะพริบ เพื่อจะขจัดปัญหานี้จึงได้มีการคิดเทคนิคขึ้นมาอย่างหนึ่งซึ่งอาศัยการเพิ่มหน่วยความจำจอภาพ ซึ่งเราเรียกกันติดปากว่า ระบบหน่วยความจำจอภาพซ้อนหรือ double buffering เทคนิคนี้มีหลักการทำงานง่าย ๆ ก็คือระหว่างที่จอภาพแสดงรูปที่เกิดจากหน่วยความจำจอภาพชุดแรก ระบบจะทำการเขียนรูปต่อไปลงบนหน่วยความจำจอภาพอีกชุดหลังจนเสร็จ จากนั้นก็จะทำการสลับให้หน่วยความจำจอภาพชุดหลังไปแสดงบนจอภาพซึ่งผลที่ได้คือการเปลี่ยนแปลงของรูปภาพที่เป็นไปโดยฉับพลันและไม่กะพริบ

จะเห็นได้ว่าการจะทำระบบหน่วยความจำจอภาพซ้อนได้จะต้องเพิ่มหน่วยความจำประมาณ 2 เท่า หมายถึงว่าถ้าเราใช้ระบบสีเทียม 8 เพลน และต้องการทำเทคนิคนี้ด้วยจะต้องใช้หน่วย

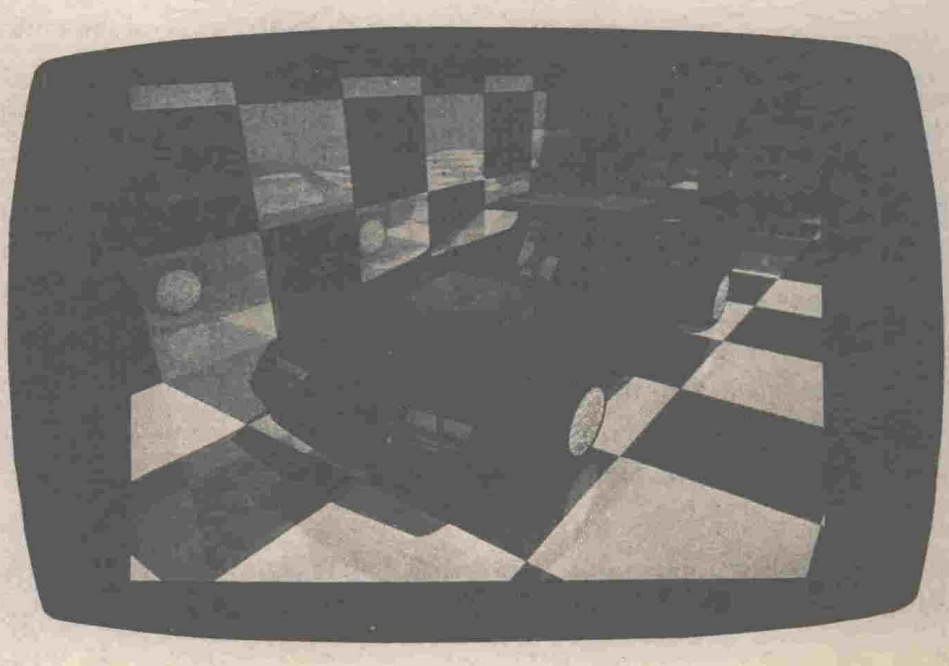
ความจำเพิ่มเป็น 16 เพลน ในกรณีของระบบสีจริง ซึ่งเดิมใช้ถึง 24 เพลนอยู่แล้ว ถ้าเพิ่มเทคนิคนี้เข้าไปจะต้องมีหน่วยความจำจอภาพถึง 48 เพลนเป็นอย่างน้อยทีเดียว แต่สิ่งหนึ่งซึ่งเป็นจุดอ่อนของเทคนิคนี้ก็คือ คุณไม่ได้วาดรูปเร็วขึ้น! เพียงแต่สามารถจะแสดงผลรูปภาพเคลื่อนไหวต่อเนื่องได้นิ่มนวลเหมือนจริงขึ้นมาก ซึ่งบางครั้งเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับงานเฉพาะบางอย่าง (เช่น ทำภาพยนตร์โฆษณา) มากถึงขั้นคุ้มค่าที่จะจ่ายเงินค่าระบบเพิ่มขึ้นอีกเกือบเท่าตัวทีเดียว สำหรับเทคนิคหน่วยความจำจอภาพซ้อนนี้ก็มีอยู่ในเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนตัวเช่นเดียวกัน แต่ไม่ได้ใช้งานเป็นที่สลักสำคัญอะไรเพราะโปรแกรมที่มีความจำเป็นต้องใช้เทคนิคนี้ในเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนตัวมีน้อย อีกทั้งความเร็วในการวาดรูปของเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนตัวก็ค่อนข้างต่ำ ทำให้เทคนิคนี้ไม่สามารถแสดงความได้เปรียบให้เห็นได้ชัดเจน

## รูปสามมิติก็ต้องมีสามแกน

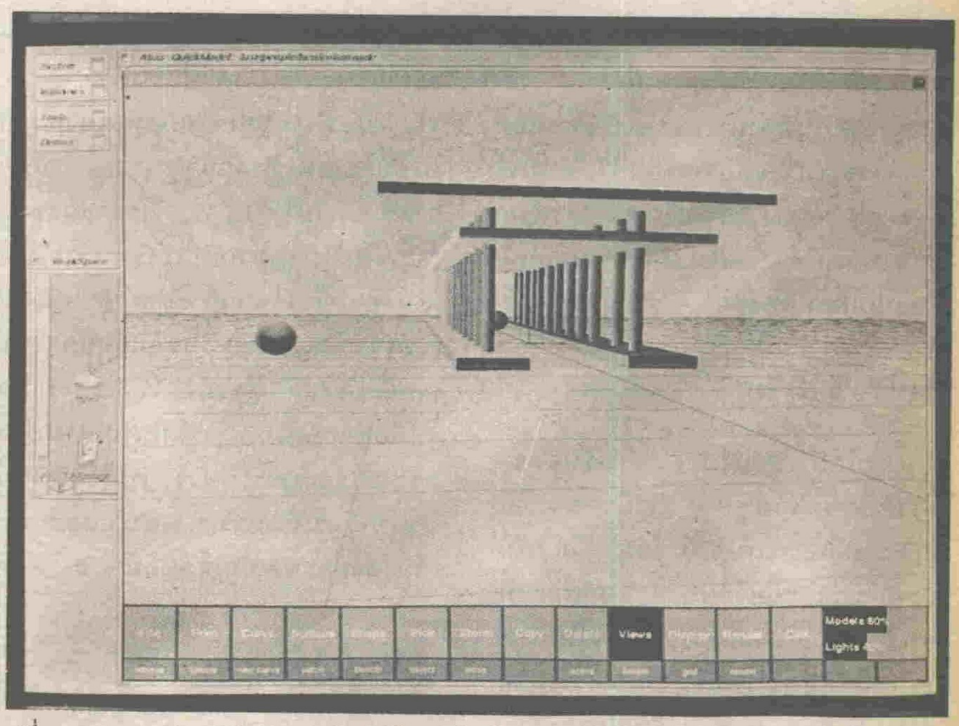
ถ้าเห็นในโฆษณาระบบกราฟิกที่ดี ๆ จะเห็นว่ามีข้อมูลจำเพาะเกี่ยวกับ Z-buffer หรือหน่วยความจำแกนแซด ซึ่งอ่านแล้วก็ยังงงว่ามันอะไรกันแน่ ก็จะต้องขอให้ทำความเข้าใจบางอย่างเกี่ยวกับการแสดงผลรูปภาพ 3 มิติบนเครื่องเวอร์กสเตชันว่ามันทำงานอย่างไรเสียก่อน

เมื่อจะแสดงวัตถุเป็นสามมิติ (โดยเฉพาะรูปผิวทึบหรือรูปตัน) จะมีการมองวัตถุเป็นรูปหลายเหลี่ยมหรือ polygon เล็ก ๆ จำนวนมหาศาลประกอบกันขึ้นเป็นวัตถุนั้น แม้แต่รูปผิวโค้งที่มองดูเรียบสนิทจริง ๆ แล้วเครื่องคอมพิวเตอร์จะมองเป็นรูปหลายเหลี่ยมเล็ก ๆ อยู่ดี ยิ่งแบ่งเป็นชิ้นเล็กลงเท่าไหร่ความเรียบของผิวก็จะเพิ่มมากขึ้น ในขณะเดียวกันจำนวนชิ้นของรูปหลายเหลี่ยมก็จะเพิ่มตามไปด้วย ในโลกของความเป็นจริงแล้วรูปสามมิติจะมีการบดบังกันระหว่างวัตถุที่อยู่ใกล้ตาเรากับวัตถุที่อยู่ไกล ที่นี้ถ้าระบบกราฟิกแปลงรูปหลายเหลี่ยมชิ้นเล็ก ๆ เหล่านั้นจากสามมิติมาเป็นสองมิติแล้วจะรู้ได้อย่างไรว่าชิ้นไหนเรามองเห็นชิ้นไหนเรามองไม่เห็น? ฉะนั้นระบบกราฟิกจะต้องเก็บข้อมูลของแกนความลึกของรูปภาพซึ่งฝรั่งเรียกว่าแกน Z เอาไว้ว่าทุก ๆ จุดภาพนั้นขณะนี้แสดงวัตถุที่ตำแหน่งความลึกเท่าไหร่นอกเหนือจากพิกัด X, Y ในสองมิติธรรมดาและข้อมูลสีสรรต่าง ๆ ฉะนั้นหลังการแปลงรูปจากสามมิติมายังสองมิติจะทำให้เกิดรายการของชิ้นหลายเหลี่ยมเล็ก ๆ เหล่านั้นซ้อนทับกันไปมาในจินตนาการ ส่วนการจะทำให้ปรากฏเป็นภาพเหมือนจริงบนจอนั้น ชิ้นหลายเหลี่ยมเหล่านี้จะต้องถูกนำมาจัดเรียงตามตำแหน่งความลึกหรือค่าแกน Z เพื่อให้รูปเหลี่ยมเล็ก ๆ ชิ้นที่มีความลึกน้อย (อยู่ใกล้ตาเรามากกว่า) ไม่ถูกบดบังโดยชิ้นหลายเหลี่ยมที่มีความลึกมากกว่า (คืออยู่ไกลจากตาเรามากกว่า) เมื่อจำนวนรูปหลายเหลี่ยมมีมากมหาศาล เวลาในการจัดเรียงก็จะนานขึ้นตามไปด้วย ถ้าระบบกราฟิกไม่มีฮาร์ดแวร์สนับสนุนในเรื่องนี้ก็จะต้องเป็นหน้าที่ของโปรแกรมที่จะต้องจัดเรียงข้อมูลเอง ถ้าระบบกราฟิกมีฮาร์ดแวร์สำหรับจัดเรียงข้อมูลเหล่านี้ (เช่นในเครื่อง APOLLO DN-4500DVS, เครื่อง HP-9000 SERIES 835 TURBO-SRX และ SILICON GRAPHICS PERSONAL IRIS เป็นต้น) การทำงานก็จะเร็วขึ้นอีก อย่างไรก็ตามวิธีการนี้ก็จะต้องสิ้นเปลืองเวลาในการจัดเรียงข้อมูลจำนวนมาก ดังนั้นจึงมีการหลบเลี่ยงโดยการใช้ Z-buffer เข้ามาช่วย

เมื่อมีการแปลงรูปหลายเหลี่ยมจากสามมิติมายังสองมิติ ค่าความลึกของรูปหลายเหลี่ยมจะถูกนำมาเปรียบ-



เทียบกับค่าที่มีอยู่แล้วใน Z-buffer ถ้าค่าของรูปเหลี่ยมที่มาใหม่น้อยกว่า (คือใกล้กว่า) หมายถึงว่ารูปเหลี่ยมนี้จะต้องแสดงออกที่จอภาพและค่าสีและตำแหน่งจุดต่าง ๆ จะต้องถูกนำมาเขียนลงในหน่วยความจำจอภาพ ถ้ารูปเหลี่ยมชิ้นใหม่มีค่าความลึกมากกว่าค่าใน Z-buffer หมายถึงรูปอยู่ไกลกว่าก็จะไม่ต้องแสดงบนจอ (เพราะถูกรูปเหลี่ยมที่ใกล้กว่าบังไว้) ด้วยวิธีนี้เราก็จะสามารถแสดงรูปสามมิติเหมือนจริง (คือมีการซ้อนทับกันได้) โดยไม่ต้องจัดเรียงข้อมูลดังรูปที่ 5 ปัญหาจึงตกอยู่ที่ว่าจะเก็บข้อมูลความลึกละเอียดขนาดไหนจึงจะพอ ถ้าใช้ข้อมูลขนาด 8 บิตต่อหนึ่งจุดภาพในการเก็บความลึกของภาพนั้น หมายถึงว่าเราจะมีความสามารถจำแนกความลึกของภาพได้เป็น 256 ระดับ ซึ่งถ้าเป็นรูปง่าย ๆ ก็อาจจะดูเพียงพอ เพราะจะอย่างไรเราก็ไม่สามารถแสดงความลึกของภาพโดยไม่มีขีดจำกัดได้ ดังนั้นเราก็เพียงกำหนดขอบเขตว่าค่าความลึกต่ำสุดและสูงสุดที่เราจะใช้เป็นเท่าไรก็เพียงพอแล้ว ตัวอย่างเช่น วัตถุที่ท่านกำลังจะแสดงมีขนาดกว้าง×ยาว×สูง ประมาณ 5×5×5 เซนติเมตร ท่านกำหนดความลึกของจอภาพเป็น 10 เซนติเมตร ก็น่าจะทำให้วัตถุของท่านนั้นหมุนหรือเคลื่อนย้ายไปมาได้ไม่ติดขัด นอกจากนี้ถ้าท่านใช้ข้อมูลความลึกขนาด 8 บิต หมายถึงในความลึก 10 เซนติเมตร สามารถแบ่งเป็น 256 ระดับ จะมีรายละเอียดความต่างของแต่ละระดับเท่ากับเศษหนึ่งส่วนสามของมิลลิเมตร (โดยประมาณ) เท่านั้น อาจมีการคำนวณปัดเศษทำให้ขอบรูปหยักเสียทรงไปบ้าง แต่โดยภาพรวมแล้วภาพที่ปรากฏบนจอจะมีความละเอียดเหมือนจริงค่อนข้างมากทีเดียว



รูปที่ 5 ภาพแสดงรูปสามมิติเหมือนจริงโดยไม่ต้องจัดเรียงข้อมูล

ปัจจุบันนี้ระบบกราฟิกในเวอร์กเตชันชั้นครูจะเก็บรายละเอียดความลึกด้วยข้อมูลถึง 32 บิตทีเดียว ดังในรูปที่ 3 ซึ่งด้วยจำนวนข้อมูลหน่วยความจำขนาดนี้สามารถให้รายละเอียดความลึกได้ถึง 4 พันล้านระดับ (โดยประมาณ) ทีเดียว! เครื่องพวกนี้จะใช้ในงานเฉพาะที่ต้องการรายละเอียดสูงส่ง และความเที่ยงตรงของรูปเป็นเรื่องคอขาดบาดตายจริง ๆ เท่านั้น การเพิ่มรายละเอียดความลึกนี้มีผู้เข้าใจผิดเสมอว่าจะต้องทำเมื่อรูปที่จะแสดงมีขนาดใหญ่ (เช่น ในความเป็นจริงมีขนาด 50 ลูกบาศก์เมตร เป็นต้น) ซึ่งไม่เป็นความจริงเลย โดยเฉพาะถ้าวัตถุนั้นมีแต่ชิ้นส่วนขนาดใหญ่ ๆ ที่ไม่มีรายละเอียดมาก เราย่อมสามารถย่อส่วนรูปให้เล็กลงได้ ปัญหาที่แท้จริงอันนำมาซึ่งการมีระดับความลึกมาก ๆ ถึง 32 บิต เกิดจากการที่วัตถุชิ้นใหญ่ ๆ และเล็ก ๆ ปรากฏพร้อมกันภายในรูปเดียวต่างหาก

ลองนึกภาพการแสดงรูปสลักยึดชิ้นเล็ก ๆ สองชั้นบนปลายสองข้างของแท่งโลหะยาว 50 เมตร ถ้าจะให้ได้รายละเอียดของสลักยึดอย่างชัดเจนก็จะต้องแบ่งความละเอียดด้านความลึกถึงระดับละครึ่งมิลลิเมตรจึงจะแสดงรูปได้เหมือนจริงและเห็นได้ชัดเจน ทีนี้แท่งโลหะยาว 50 เมตรก็จะต้องถูกแบ่งเป็นความลึกท่อนละครึ่งมิลลิเมตรด้วยเหมือนกัน ผลที่ได้ก็คือเราต้องการระดับความลึกทั้งสิ้นอย่างน้อย 100,000 ระดับ แปลเป็นจำนวนบิตข้อมูลก็คือประมาณ 17 บิต ถ้าคุณคิดถึงการออกแบบโครงสร้างสิ่งของใหญ่ ๆ ในปัจจุบัน (เช่น สถานีอวกาศที่จะสร้างโดยสหรัฐอเมริกา ซึ่งมีแผงรับแสงอาทิตย์ยาวเกือบครึ่งกิโลเมตร และจะต้องออกแบบรายละเอียดถึงน็อตทุกตัว สลักทุกชิ้น) จะเห็นได้ว่าความต้องการ Z-buffer ขนาดใหญ่นั้นจำเป็นจริง ๆ แต่โชคดีอยู่อย่าง

หนึ่งว่าการจะเพิ่มระดับความลึกเพิ่มเป็น 2 เท่านั้นต้องการเพิ่มขึ้นเพียง 1 บิตต่อหนึ่งจุดภาพเท่านั้น และเมื่อใช้ร่วมกับเทคนิคความจำจอภาพซ้อนก็ไม่จำเป็นต้องเพิ่ม Z-buffer เป็นสองเท่าด้วย เราสามารถใช้ Z-buffer เพียงชุดเดียวนี้กับรูปเคลื่อนไหวได้

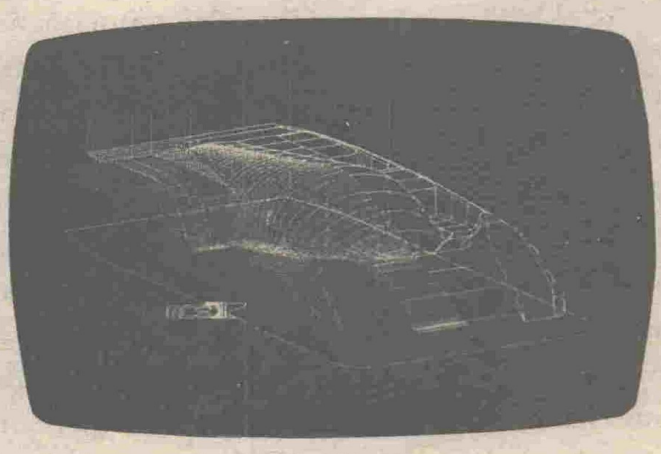
## ยอดวิชาแรเงา

เมื่อมี Z-buffer สำหรับจดจำความลึกของวัตถุได้ เราก็สามารถมี alpha-buffer เพื่อเก็บข้อมูลเกี่ยวกับความโปร่งใสของวัตถุได้ หลักการนี้เราเรียกว่า blending หรือการกลืนภาพ การเก็บข้อมูลขนาด 8 บิตต่อจุดภาพใน alpha-buffer จะสามารถแสดงความโปร่งใสของวัตถุได้ถึง 256 ระดับ ซึ่งเพียงพอเหลือเฟือ โดยระดับศูนย์จะหมายถึงวัตถุโปร่งแสงมองทะลุได้เต็มที่ ในขณะที่ระดับ 255 หมายถึงวัตถุมีความทึบแสงเต็มที่มองไม่เห็นวัตถุข้างหลังเลย ทีนี้ถ้ามีการตั้งระดับไว้เป็น 200 ก็จะหมายความว่าวัตถุข้างหน้ามีความโปร่งแสง 20% โดยประมาณ หมายถึงสภาพสีของจุดภาพจะคิด 78% ของสีวัตถุที่อยู่ข้างหน้าและใช้ 22% ของสีวัตถุที่อยู่ข้างหลัง อย่างไรก็ตามเทคนิคการใช้ alpha buffer ไม่ใช่วิธีที่ดีในการใช้แสดงวัตถุใสประเภทแก้วหรือพลาสติกใส เนื่องจากวิธีนี้ไม่ได้คำนึงถึงการเบี่ยงเบนและสะท้อนของแสงเมื่อผ่านวัตถุ ฉะนั้นถ้าวัตถุรูปเลนซ์ที่มีความใสถูกแสดงโดยเทคนิคนี้จะไม่แสดงคุณสมบัติการรวมแสงหรือเบี่ยงเบนแสงแต่อย่างใด การจะแสดงวัตถุใสนั้นต้องใช้กรรมวิธีที่เรียกว่า คำนวณวิถีแสง หรือ ray-tracing technique แทน การใช้ alpha-buffer นั้นมีข้อดีอยู่ที่สามารถแสดงสภาพภายในวัตถุโดยไม่เสียรายละเอียดของผิวนอกไป

นอกจากจะใช้ในการแสดงความโปร่งแสงของวัตถุแล้ว alpha buffer อาจถูกนำไปใช้ในการแก้ไขปัญหาของรูปภาพเป็นรอยหยักไม่เรียบเมื่อเป็นเส้นโค้งหรือเส้นทแยงโดยใช้เทคนิคที่เรียกว่า antialias หรือขจัดขอบขรุขระ เทคนิคนี้จะเฉลี่ยค่า alpha buffer ระหว่างรูปที่อยู่ข้างหน้ากับรูปที่เป็นพื้นด้านหลังตรงบริเวณขอบรูปทำให้รูปที่ได้มีขอบที่ราบเรียบขึ้นรวมทั้งเส้นทแยงและเส้นโค้งก็จะชัดเจนเฉียบคมด้วย

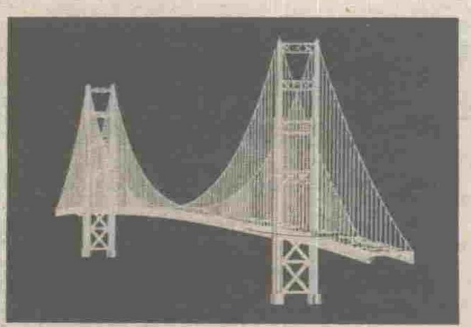
## ตกแต่งเพิ่มเติม

หลังจากที่ระบบกราฟิกแสดงรูปภาพตามข้อมูลที่เก็บไว้ในหน่วยความจำจอภาพต่าง ๆ เสร็จสิ้นแล้ว ระบบกราฟิกจะตกแต่งผลงานขั้นสุดท้ายด้วยข้อมูลในโอเวอร์เลย์เพลนหรือหน่วยความจำทับหน้า ฉะนั้นจะเห็นว่าหน่วยความจำทับหน้าจะมีความสำคัญที่สุดในบรรดาหน่วยความจำจอภาพทั้งหลาย เพราะจะได้ปรากฏอยู่ข้างหน้าเสมอ ความจริงแล้วหน่วยความจำทับหน้านั้นก็คือ หน่วยความจำจอภาพเพิ่มเติมขึ้นจากปกติเท่านั้น ดังในรูปที่ 3 จะแตกต่างจากปกติเฉพาะที่ว่าถ้าค่าของจุดภาพบนหน่วยความจำส่วนนี้เป็นศูนย์จะไม่มีการแสดงจุดภาพนั้นทับรูปเดิม ประโยชน์ของหน่วยความจำส่วนนี้เช่นใช้ในการเก็บข้อมูลและแสดงรูปสัญลักษณ์ชี้หรือเคอร์เซอร์ หรือตัวอักษรต่าง ๆ ทั้งนี้เพราะหน่วยความจำทับหน้านี้สามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยไม่ส่งผลกระทบกระเทือนกับรูปภาพข้างหลังแม้แต่น้อย พิจารณากรณีที่ระบบไม่มีโอเวอร์เลย์เพลน จะเห็นได้ว่าหากเราจะขยับรูปเคอร์เซอร์ไปมาบนรูปภาพ เราจะต้องเก็บข้อมูลของรูปส่วนที่จะถูกทับด้วยเคอร์เซอร์ไว้ก่อนแล้วเขียนรูปเคอร์เซอร์ทับลงไป เมื่อมีการเลื่อนตำแหน่งครั้งหน้าเราจะต้องนำข้อมูลของรูปเขียนทับลงไปอีกครั้งแล้วจึงจะเลื่อนที่ไปได้ ลักษณะการทำงานแบบนี้จะเสียเวลาทำงานมาก ถ้าระบบมีโอเวอร์เลย์เพลนเราสามารถมองเคอร์เซอร์เหมือนกับเป็นรูปอยู่บนแผ่นใสสามารถเลื่อนที่ไปมาได้ดังใจโดยไม่มีส่วนใดเกี่ยวข้องกับรูปภาพข้างล่างแม้แต่น้อย บางระบบนอกจากจะมีโอเวอร์เลย์ถึง 4 เพลน ซึ่งทำให้แสดงสีตัวอักษรและเคอร์เซอร์ได้ถึง 16 สี แล้วยังมีอันเดอร์เลย์เพลนเพิ่มเติมเพื่อการแสดงภาพพื้นหลังโดยเฉพาะอีกด้วย



## สัพเพเหระ

นอกจากระบบหน่วยความจำจอภาพที่อุทิศให้กับการดูแลจัดการและเก็บข้อมูลเกี่ยวกับรูปภาพและตัวอักษรที่จะปรากฏบนจอแล้ว ระบบกราฟิกที่ดีจะมีหน่วยความจำควบคุมหรือคอนโทรลเพลน สำหรับเก็บข้อมูลด้านการจัดการสภาพจอ เช่น ข้อมูลความสัมพันธ์กันระหว่างหน้าต่างแต่ละบานในระบบพหุบัญชรหรือ WINDOW SYSTEM (ซึ่งปัจจุบันเราถือว่าเวอร์กสเตชันที่ไม่มีระบบวินโดว์ถือว่าเชยแหลกทีเดียว) เป็นต้น บางครั้งหน้าต่างแต่ละบานต้องการรูปแบบการจัดหน่วยความจำรองรับเบื้องหลังที่ต่างกัน หน้าต่างหนึ่ง อาจต้องการเพียงการลากเส้นตรงธรรมดา ๆ สักสองสามเส้น ในขณะที่หน้าต่างอีกบานหนึ่งต้องการคุณสมบัติเต็มขีดของจอภาพแบบสามมิติ และอีกบานหนึ่งต้องการแสดงผลเป็นตัวอักษรล้วน ๆ สีเดียว ระบบกราฟิกที่ยืดหยุ่นสูงควรสามารถแสดงผลรูปภาพสีจริงได้ในหน้าต่างบานหนึ่ง และแสดงภาพเคลื่อนไหวโดยใช้สีเทียม 12 เพลน และเทคนิคหน่วยความจำซ้อนในอีกหน้าต่างหนึ่งโดยไม่มีปัญหาแม้ว่าจะมีจำนวนเพลนของระบบทั้งหมดเพียง 30 เพลนเท่านั้น ทั้งนี้เพราะทั้งสองหน้าต่างใช้ปริมาณเพลนแสดงผลเท่ากัน ข้อมูลสัพเพเหระเพื่อใช้ในการจัดการทำงานของจอให้มีประสิทธิภาพนี้ล้วนถูกเก็บอยู่ในหน่วยความจำควบคุมทั้งสิ้น



## อนาคตอันใกล้

จากรูปที่ 3 จะเห็นได้ว่าเราอาจจะต้องการหน่วยความจำปริมาณมหาศาลเพื่อแสดงรูปที่เราต้องการ ในกรณีที่จอภาพเป็นขนาด 1,280×1,024 จุดภาพ เราต้องการหน่วยความจำถึง 16 ล้านไบต์ทีเดียว ถ้าเทียบว่าคำหนึ่งคำประกอบด้วย 8 ตัวอักษรโดยเฉลี่ย (ซึ่งหมายถึง จะต้องใช้หน่วยความจำในการเก็บ 8 ไบต์) หมายความว่ารูปภาพหนึ่งจอภาพจะต้องอธิบายด้วยคำถึง 2 ล้านคำเศษทีเดียว

แม้ว่า Z-buffer และ alpha buffer จะใช้งานเฉพาะในรูปสามมิติแต่ส่วนอื่นของหน่วยความจำนั้นต้องใช้เหมือนกันทุก ๆ รูปทีเดียว ในอนาคตเมื่อเครื่องคอมพิวเตอร์มีขีดความสามารถในการคำนวณเร็วขึ้นอีกและหน่วยความจำมีราคาลดลงอีก เราก็จะเห็นระบบกราฟิกที่ใช้หน่วยความจำปริมาณ "มหึมา" ซึ่งจะส่งผลให้รูปภาพที่ปรากฏบนจอภาพมีทั้งความคมชัดสุดพรรณา และเคลื่อนไหวรวดเร็วกลมกลืนจนไม่รู้ว่าเป็นของจริงถ่ายวิดีโอหรือของปลอมสร้างขึ้นจากโปรแกรมเลยทีเดียว!


**สมัครด่วน**

บริษัท C&C Comp-Center จำกัด เป็นบริษัทผู้นำเข้าและตัวแทนจำหน่ายเครื่องคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์เกี่ยวกับคอมพิวเตอร์ที่มีชื่อเสียงมานาน มีความประสงค์จะรับสมัครเจ้าหน้าที่เข้าประจำ ตำแหน่งดังนี้ :-

1. **COMPUTER TECHNICAN**
   - เพศชาย พันภาระเกณฑ์ทหาร
   - วุฒิ ปวส. ด้านอิเลคทรอนิกส์ หรือเทียบเท่า
   - มีความรู้ด้านคอมพิวเตอร์จะพิจารณาเป็นพิเศษ
   - สามารถขับขี่รถจักรยานยนต์, รถยนต์ และมีใบอนุญาต

สนใจ..ส่งประวัติส่วนตัว หลักฐานการศึกษา พร้อมรูปถ่าย หรือสมัคร ด้วยตนเองได้ที่

ผู้จัดการแผนกบุคคล

**บริษัท C&C Comp-Center จำกัด**
486/127 สี่แยกราชเวที (หลังธนาคารกรุงไทย สาขาราชเทวี) ถ.พญาไท กทม. 10400
โทร. 215-0337, 215-9162

หมดเขต วันที่ 30 กันยายน 2533



ต้องการขายเครื่อง PC/XT TURBO MEMORY 640 KB DRIVE 360×2 จอ MONOCHROME 14" KEYBOARD 101 KEY ภาษาไทย 25 บรรทัด (SUPER DYNA) พร้อม MULTI I/O สภาพดีเยี่ยม ราคา 14,000 (ตกลงกันได้)

สนใจติดต่อ

หมิง โทร. 234-0404 (ก่อน 3 ทุ่ม)
โทร. 437-3998 (หลัง 3 ทุ่ม)